

(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift  
(10) DE 39 42 964 A 1

(21) Aktenzeichen: P 39 42 964.4  
(22) Anmeldetag: 23. 12. 89  
(43) Offenlegungstag: 27. 6. 91

(51) Int. Cl. 5:  
**H 05 H 1/46**  
H 01 J 37/32  
H 01 P 1/18  
H 01 P 5/00  
// G02B 5/28

THE BRITISH LIBRARY  
23 JUL 1991  
SCIENCE REFERENCE AND  
INFORMATION SERVICE

(71) Anmelder:  
Leybold AG, 6450 Hanau, DE

(74) Vertreter:  
Schickedanz, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 6050  
Offenbach

(72) Erfinder:  
Gesche, Roland, Dr., 6453 Seligenstadt, DE;  
Kretschmer, Karl Heinz, Dr., 6070 Langen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- (54) Einrichtung für die Erzeugung eines Plasmas  
(57) Die Erfindung betrifft eine Einrichtung für die Erzeugung eines Plasmas mittels zirkular polarisierter Hochfrequenzwellen. Diese Hochfrequenzwellen werden mittels Spannungen erzeugt, die eine Phasendrehung von 90° aufweisen.

DE 39 42 964 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung für die Erzeugung eines Plasmas mittels zirkular polarisierter Hochfrequenzwellen.

Auf zahlreichen Gebieten der Technik ist es erforderlich, sehr dünne Materialschichten auf Träger aufzudampfen, um vorgegebene Eigenschaften zu erhalten. Beispiele hierfür sind die Interferenzfilter und die Compact-Disk-Scheiben. Um aus der Gasphase heraus aufzudampfen zu können, müssen zuvor Gasplasmen erzeugt werden, d. h. Gase mit positiv und negativ geladenen sowie neutralen Teilchen.

Für die Herstellung solcher Plasmen sind zahlreiche Verfahren bekannt. Ein neuerdings weit verbreitetes Verfahren besteht darin, mit Hilfe von Mikrowellen und statischen Magnetfeldern eine Elektronen-Zyklotron-Resonanz zu erzeugen, wodurch eine starke Ionisierung von Gasen ermöglicht wird. Derartige Mikrowellen müssen mit Hohlleitern oder ähnlichen Wellenleitern eingespeist werden, da sie einen Frequenzbereich von 300 MHz bis 300 GHz bzw. einen Wellenlängenbereich von 1 m bis 1 mm umfassen. In diesem Bereich verhalten sich elektromagnetische Wellen quasi-optisch.

Es sind indessen auch Plasmaanregungen bekannt, bei denen elektromagnetische Wellen im UHF-Bereich bzw. im Bereich unterhalb 100 MHz verwendet werden (US-PS 46 91 662; Oechsner, Plasma Physics, Vol. 16, 1974, S. 835 bis 844; Boswell, Plasma Physics and Controlled Fusion, Vol. 26, Nr. 10, 1984, S. 1147 bis 1162).

Treffen diese Wellen auf Magnetfelder, so breiten sie sich parallel zu diesen aus. In der Geophysik werden diese Wellen Whistler-Wellen genannt. Sie entstehen aus Blitzen und laufen den magnetischen Feldlinien entlang durch den Raum. In dem Gebiet, in dem diese Feldlinien die Erdoberfläche erreichen, hört man in einem Lautsprecher ein Pfeifen, das von hohen zu tiefen Tönen geht. In der Festkörperphysik werden die Whistler-Wellen auch Helicon-Wellen genannt (Harding und Thonemann, Study of helicon waves in indium, Proc. Phys. Soc. 1965, Vol. 85, S. 317 bis 328).

Um Whistler- oder Heliconwellen labormäßig zu erzeugen, müssen zunächst zirkular polarisierte Wellen erzeugt werden, denn bei den Whistler- und Heliconwellen handelt es sich um zirkular polarisierte Wellen. Hierzu ist es z. B. bekannt (Boswell, a.a.O., Fig. 4; Boswell, Perry und Emami, Le Vide, Les Couches Mince, Supplément au Nr. 246, März/April 1989, Fig. 1), eine 8.8-MHz-Schwingung von einem Oszillatator und einem Verstärker auf ein Koaxialkabel zu geben, das über zwei variable Hochspannungskondensatoren in  $\pi$ -Schaltung an eine Antenne angepaßt wird. Nachteilig ist hierbei der Umstand, daß die spezielle Geometrie der Antenne eine leistungsmäßige Anpassung der Wellen an das Plasma erschwert und das Zündverhalten problematisch ist.

Auch bei einer anderen bekannten Anordnung, mit der zirkular polarisierte Wellen erzeugt werden können, ist es aufgrund der Antennengeometrie nicht möglich, eine leistungsmäßige Anpassung auf einfache Weise vorzunehmen (US-PS 41 60 978).

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zu schaffen, mit der zirkular polarisierte Wellen im Bereich von etwa 1 MHz bis 100 MHz, insbesondere von 13,56 MHz, erzeugt werden können, wobei eine Anpassung der Wellen an verschiedene Impedanzen möglich ist.

Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des Pa-

tentanspruchs 1 gelöst.

Der mit der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, daß mit hohem Wirkungsgrad Plasmen erzeugt werden können.

5 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben. Es zeigt

Fig. 1a eine erste linear polarisierte Welle;

Fig. 1b eine zweite linear polarisierte Welle;

10 Fig. 2 eine aus zwei linear polarisierten Wellen zusammengesetzte zirkular polarisierte Welle;

Fig. 3 eine Plasmakammer mit zuführung von HF-Energie mittels zirkular polarisierten Wellen;

15 Fig. 4 eine Schaltung mit Phasenschiebern für die Erzeugung einer zirkular polarisierten Welle;

Fig. 5 eine Ansicht von oben auf die Plasmakammer gemäß Fig. 3;

Fig. 6 eine Anordnung für die kapazitive Einkopplung einer zirkular polarisierten Welle;

20 Fig. 7 eine perspektivische Darstellung der Anordnung gemäß Fig. 6;

Fig. 8 eine Anordnung gemäß Fig. 7, jedoch mit kapazitiven Einspeisungen, die einen Abstand d voneinander haben;

25 Fig. 9 eine Anordnung mit induktiver Einspeisung der elektromagnetischen Energie in das Plasma;

Fig. 10 eine perspektivische Darstellung der Anordnung gemäß Fig. 9;

30 Fig. 11 zwei Anordnungen gemäß Fig. 10, die in  $\lambda/4$  relativ zueinander versetzt sind.

In der Fig. 1a ist eine ebene, linear polarisierte elektromagnetische Welle dargestellt, die sich entlang der x-Achse bewegt, d. h. nach rechts fortpflanzt. Diese Welle besteht aus einem elektrischen Wechselfeld  $\vec{E}_1$ , 35 das in y-Richtung zeigt, sowie aus einem magnetischen Wechselfeld  $\vec{H}_1$ , das in z-Richtung zeigt. Die Welle heißt eben, weil  $\vec{E}_1$  und  $\vec{H}_1$  unabhängig von y und z sind, sich also in den Ebenen  $x = \text{constant}$  örtlich nicht ändern. Sie wird als linear polarisiert bezeichnet, weil sich die Spitzen der Feldvektoren an einem festen Ort zeitlich auf einer geraden Linie bewegen.

Die Fig. 1b zeigt eine ähnliche Welle mit den Feldern  $\vec{E}_2$  und  $\vec{H}_2$  noch einmal, allerdings um  $90^\circ$  phasenverschoben und um  $90^\circ$  in der Y-Z-Ebene gedreht.

Überlagert man die beiden Wellen gemäß Fig. 1a und Fig. 1b und betrachtet man nun die elektrischen Felder, so ergibt sich die Darstellung der Fig. 2, wobei allerdings die Drehrichtung des Gesamtfelds eine andere ist. Man erkennt hierbei, daß sich die Feld-Vektoren  $\vec{E}_2$  und  $\vec{E}_1$  zu einem Gesamtfeld  $\vec{E}$  addieren. Wegen der  $90^\circ$ -Phasenverschiebung und der  $90^\circ$ -Drehung in der Y-Z-Ebene beschreibt die Resultierende R eine Spirale. Diese Spirale ist in der Fig. 2 rechtsdrehend, während die Addition der Fig. 1a und 1b zu einer linksdrehenden Spirale führt. Aus der Sicht von der rechten Seite der x-Achse auf das Achsenkreuz der Fig. 2 ergibt sich somit eine Vektorendarstellung, wie sie auf der rechten Seite der Fig. 2 gezeigt ist.

In der Fig. 3 ist eine Plasmakammer 1 dargestellt, die 60 einen oberen Zylinder 2 und einen unteren Zylinder 3 enthält. Beide Zylinder 2, 3 bestehen beispielsweise aus Quarz und sind einstückig ausgebildet. Im oberen Zylinder 2, der von zwei Rahmenantennen umgeben ist, von denen man nur die Antenne 4 erkennt, wird Plasma ausgebildet. Die eine Rahmenantenne ist hierbei an einen Verstärker 7 angeschlossen, während die andere Rahmenantenne an einen Verstärker 5 angeschlossen ist. Der Verstärker 5 ist direkt mit einem 13,56-MHz-Os-

zillator 6 verbunden. Dagegen liegt der Verstärker 7 über einen Phasenschieber 8 an diesem Oszillatoren 6. Mit Hilfe einer Solenoid-Spule 9 wird in dem Zylinder 2 ein statisches Mittelfeld erzeugt, welches die Ausbildung einer Whistler-Welle bewirkt. Die von den Rahmenantennen ausgehenden Hochfrequenzwellen werden also durch das Magnetfeld im Plasma 10 in den Whistler- oder Helicon-Zustand gekoppelt, wodurch der Transfer von Energie in das Zentrum des Plasmas gewährleistet wird.

Der Vorteil von Whistler- bzw. Helicon-Wellen besteht darin, daß sie mit den Bahnen der geladenen Teilchen des Plasmas 10 im Magnetfeld in Resonanz treten. Durch das Magnetfeld wird auch eine Einschnürung des Plasmas 10 bewirkt, die ihrerseits eine Zunahme der Dichte des Plasmas zur Folge hat. Das Plasma 10 diffundiert nun aus dem Zylinder 2 in den Zylinder 3 und wird dort durch weitere Solenoid-Spulen 10, 12 geführt. Ein Substrat 13, das sich auf einem Substrattisch 14 befindet, wird auf diese Weise durch das Plasma z. B. geätzt. Der Substrattisch 14 wird durch eine Wasserkühlvorrichtung 15, 16 gekühlt. An dieser Wasserkühlung 15, 16 ist über eine Anpassungsschaltung 17 eine Hochfrequenz 18 angeschlossen. Mit Hilfe einer nicht dargestellten Vakuumpumpe wird das Rest-Plasma, das nicht zum Ätzen des Substrats 13 genutzt werden konnte, über einen Stutzen 19 im unteren Bereich 20 der Plasmakammer 1 abgesaugt.

In der Fig. 4 ist eine Variante der in der Fig. 3 gezeigten Schaltungsanordnung für die Erzeugung einer zirkular polarisierten Welle dargestellt. Der 13,56-MHz-Oszillatoren 6 ist hierbei über einen Verstärker 21 sowohl mit einem ersten Phasenschieber 22 als auch mit einem zweiten Phasenschieber 23 verbunden. Die Ausgänge 24, 25 der beiden Phasenschieber 22, 23 stehen mit den Eingangsanschlüssen der in der Fig. 3 gezeigten Antenne 4 in Verbindung. Die Anordnung der Fig. 4 weist somit zwei Phasenschieber 22, 23 und einen Verstärker 21 auf, während die Anordnung der Fig. 3 einen Phasenschieber 8 und zwei Verstärker 5, 7 enthält.

In beiden Fällen dienen die Phasenschieber 8 bzw. 22, 23 dazu, zwei um 90° phasenverschobene HF-Spannungen zu erzeugen und über eine Antenne 4 einzuspeisen.

Die Fig. 5 zeigt eine Ansicht von oben auf den oberen Zylinder 2 der Plasmakammer. Man erkennt hierbei zwei Rahmenantennen 50, 51, von denen die Rahmenantenne 51 der Antenne 4 in Fig. 3 entspricht. Jede dieser Antennen 50, 51 ist über elektrische Leitungen 27, 26 an einen Verstärker 7, 5 angeschlossen.

In der Fig. 6 ist der obere Zylinder 2 der Plasmakammer 1 dargestellt, der von vier Elektroden 28 bis 31 umgeben ist. Hierbei ist eine erste Spannung U<sub>1</sub> an den sich gegenüberliegenden Elektroden 29, 31 und eine zweite Spannung U<sub>2</sub> an den sich gegenüberliegenden Elektroden 28, 30 angeschlossen. Beide Spannungen U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub> sind um 90° phasenverschoben, so daß sich eine zirkular polarisierte Welle ausbildet.

Die Fig. 7 zeigt die Anordnung der Fig. 6 noch einmal in perspektivischer Darstellung. Die vier Elektroden 28 bis 31 sind um jeweils ca. 90° versetzt, wobei an jeweils zwei gegenüberliegenden Elektroden je eine der um ca. 90° phasenverschobenen Spannungen U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub> angelegt ist.

In der Fig. 8 sind mehrere Elektrodenkonfigurationen (28 bis 31, 32 bis 35) dargestellt, die einen Abstand voneinander haben und um eine Phasendifferenz versetzt gespeist werden. Es wäre auch möglich, die Konfiguration 28 bis 31 auf dem Zylinder 2 relativ zur Konfigura-

tion 32 bis 35 zu verdrehen. Der Abstand d zwischen den beiden Konfigurationen beträgt bei einer vorteilhaften Ausgestaltung etwa ein Viertel der effektiven Wellenlänge.

In der Fig. 9 ist eine induktive Einkopplung der elektromagnetischen Energie in das Plasma dargestellt. Hierfür sind vier Spulen 36 bis 39 vorgesehen, die an der Außenseite des Zylinders oder Rohrs 2 um jeweils ca. 90° versetzt angeordnet sind. An jeweils zwei gegenüberliegenden Spulen 37, 39 bzw. 36, 38 ist eine Spannung U<sub>1</sub> bzw. U<sub>2</sub> angelegt, wobei die eine Spannung U<sub>1</sub> gegenüber der anderen Spannung U<sub>2</sub> um 90° phasenverschoben ist.

In der Fig. 10 ist die Anordnung der Fig. 9 perspektivisch dargestellt. Alle Spulen 36 bis 39 liegen auf demselben Umfang des Zylinders 2. Es ist indessen auch möglich, die Spulen 37, 39 gegenüber den Spulen 36, 38 entlang der Achse des Zylinders 2 zu versetzen. Außerdem können sie um diese Achse relativ zueinander verdreht sein.

Die Fig. 11 zeigt zwei Spulenkonfigurationen 37 bis 39, 40 bis 43, die im Abstand von etwa einem Viertel der effektiven Wellenlänge auf dem Umfang des Zylinders 2 angeordnet sind. Die von diesen Konfigurationen 37 bis 39 bzw. 40 bis 43 erzeugten Felder weisen einen Phasenwinkel von ca. 90° zueinander auf.

#### Patentansprüche

1. Einrichtung für die Erzeugung eines Plasmas, das sich in einem Behälter befindet, mittels zirkular polarisierten Hochfrequenzwellen, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung der zirkular polarisierten Hochfrequenzwellen zwei Hochfrequenzspannungsquellen (U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>) vorgesehen sind, deren Spannungen eine Phasenverschiebung von 90° aufweisen, wobei die Einkopplung der elektromagnetischen Energie in das Plasma durch die Wand des Behälters (2) von außen erfolgt.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochfrequenzspannungsquellen durch einen Oszillatoren (6) realisiert sind, dessen Ausgangssignal einmal ohne Phasenverschiebung und einmal mit Phasenverschiebung dem Plasma zugeführt ist.
3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannung des Oszillators (6) einmal über einen Verstärker (5) und einmal über einen Phasenschieber (8) und einen Verstärker (7) dem Plasma zugeführt ist.
4. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannung des Oszillators (6) über einen Verstärker (21) einem ersten Phasenschieber (22) und einen zweiten Phasenschieber (23) dem Plasma zugeführt ist.
5. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzielung einer Phasendrehung von ca. 90° eine Leitung verwendet wird, deren Länge etwa einem Viertel der Wellenlänge der Hochfrequenzspannungen (U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>) entspricht.
6. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß um den Behälter (2) vier Elektroden (28 bis 31) gelegt sind, von denen zwei erste Elektroden (29, 31) an einer ersten Spannung (U<sub>1</sub>) und zwei zweite Elektroden (28, 30) an einer zweiten Spannung (U<sub>2</sub>) liegen, wobei die erste Spannung (U<sub>1</sub>) gegenüber der zweiten Spannung (U<sub>2</sub>) eine Phasenverschiebung von 90° aufweist.

7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Abstand (d) von vier ersten Elektroden (28 bis 31) vier zweite Elektroden (32 bis 35) angeordnet sind, wobei die vier zweiten Elektroden (32 bis 35) in derselben Weise wie die vier ersten Elektroden (28 bis 31) an phasenverschobene Spannungen ( $U_1, U_2$ ) gelegt sind. 5
8. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die vier ersten Elektroden (28 bis 31) gegenüber den vier zweiten Elektroden (32 bis 35) 10 um die Achse des Behälters (2) versetzt sind.
9. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einkopplung der elektromagnetischen Energie in das Plasma induktiv über Spulen erfolgt. 15
10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß vier Spulen (36 bis 39) vorgesehen sind, die um den Behälter (2) herum angeordnet sind, wobei zwei Spulen (37, 39) an einer ersten Spannung ( $U_1$ ) und zwei Spulen (36, 38) an einer 20 zweiten Spannung ( $U_2$ ) liegen.
11. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die an der ersten Spannung ( $U_1$ ) liegenden Spulen (37, 39) auf einer ersten Achse und die an der zweiten Spannung ( $U_2$ ) liegenden Spulen 25 (36, 38) auf einer zweiten Achse angeordnet sind, wobei die erste Achse senkrecht auf der zweiten Achse steht.
12. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Spulenkonfigurationen (36 bis 30 39 bzw. 40 bis 43) vorgesehen sind, die im Abstand von einem Viertel der effektiven Wellenlänge um den Behälter (2) herum angeordnet sind, wobei die von ihnen erzeugten Wellen einen Winkel von  $90^\circ$  zueinander haben. 35
13. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zu den Hochfrequenzwellen dem Plasma ein statisches oder niederfrequentes Magnetfeld zugeführt ist. 40
14. Einrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das statische oder niederfrequente Magnetfeld mittels einer Spule (9) erzeugt wird, die den Behälter (2) umgibt. 45
15. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an den Behälter (2), in dem sich das Plasma befindet, ein zweiter Behälter (3) anschließt, der mit dem ersten Behälter (2) einstückig ausgebildet ist, und daß um den zweiten Behälter (3) eine Spule (11 bzw. 12) angeordnet ist. 50
16. Einrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungen der Hochfrequenzspannungen eine relative Drehung von  $90^\circ$  zueinander aufweisen. 55

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

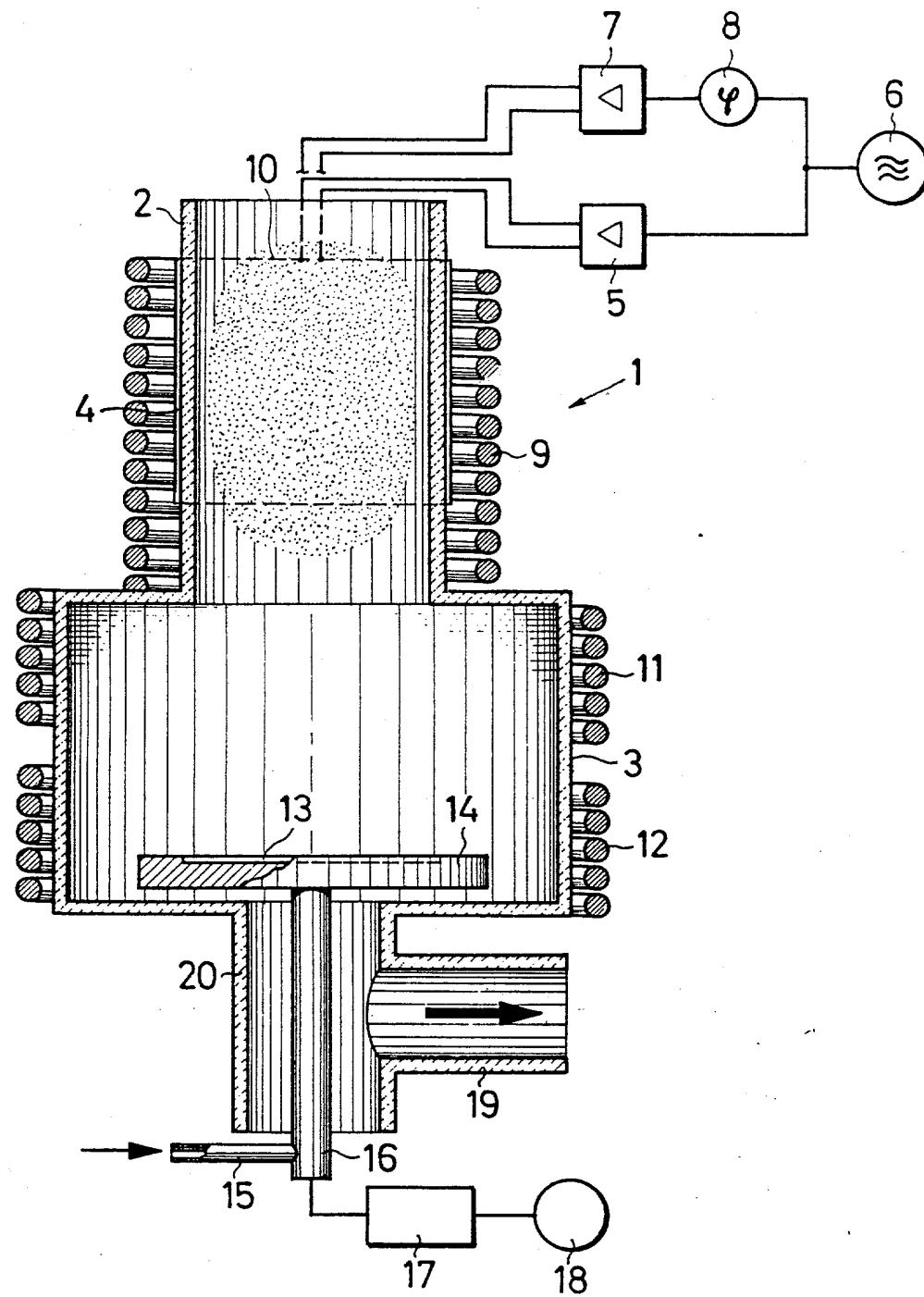


FIG. 3

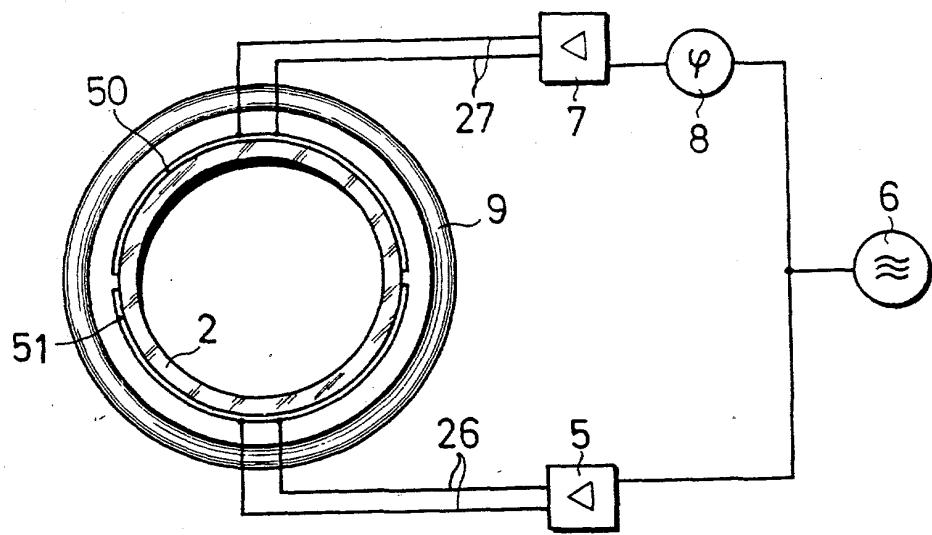


FIG. 5

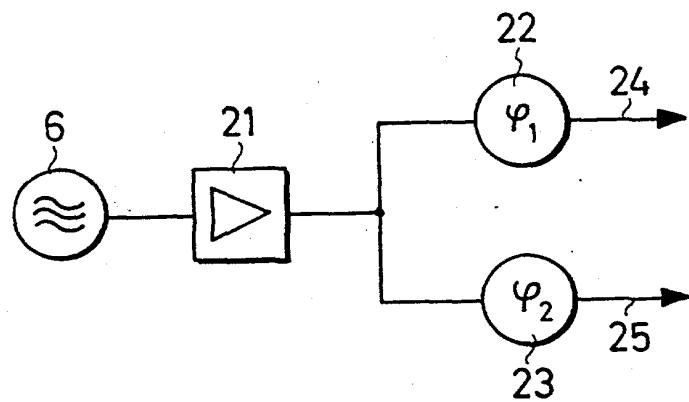


FIG. 4

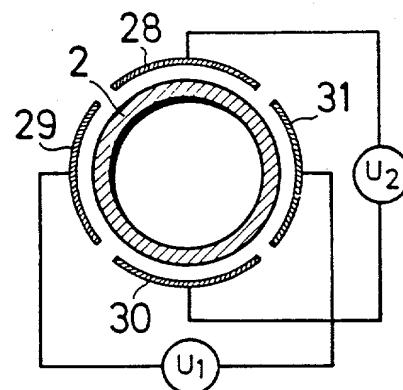


FIG. 6

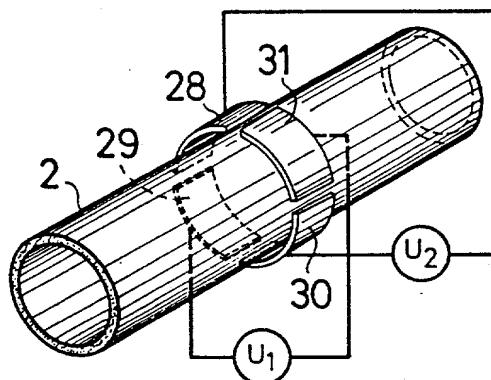


FIG. 7

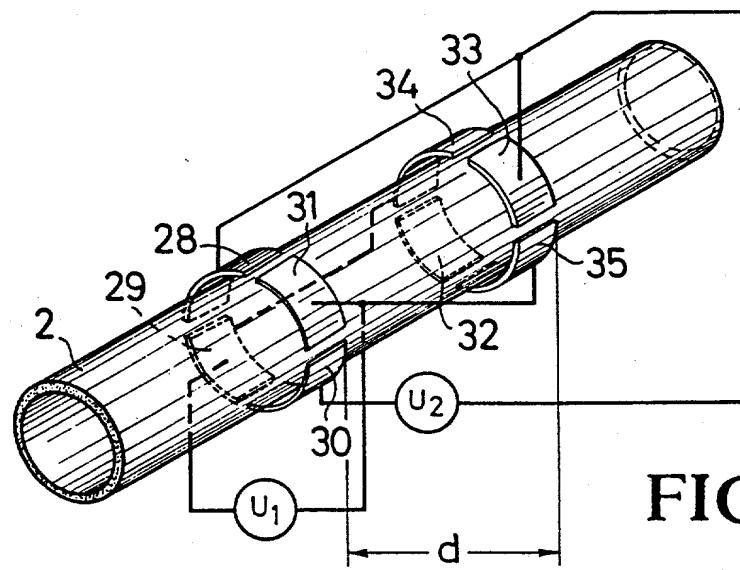


FIG. 8

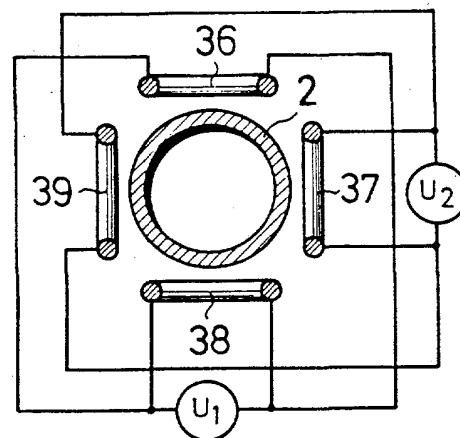


FIG. 9

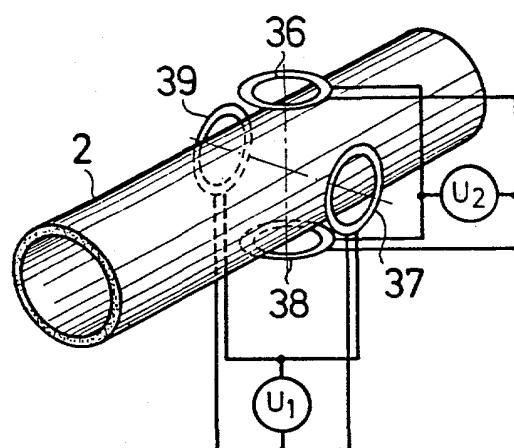


FIG. 10

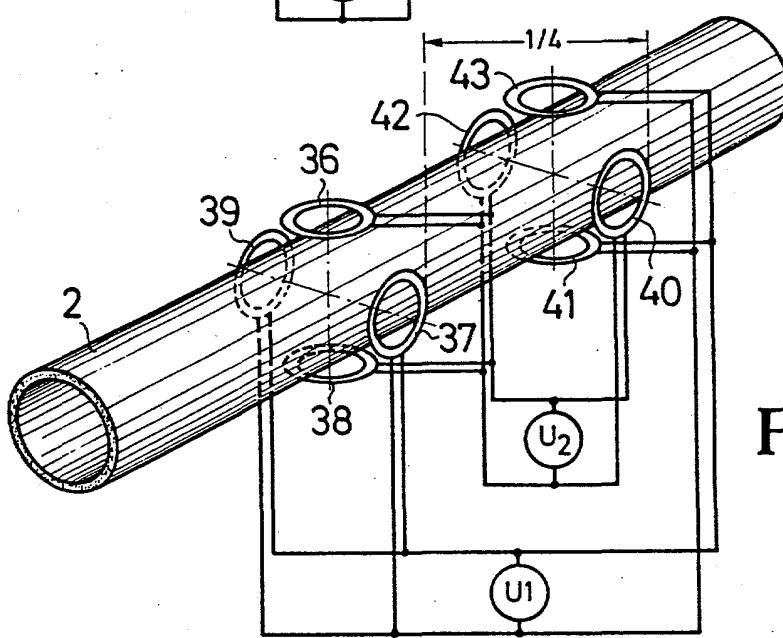


FIG. 11

